

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number : 07-202299

(43) Date of publication of application : 04. 08. 1995

(51) Int. Cl.

H01S 3/094

G02B 6/00

G02F 1/35

H01S 3/07

H01S 3/10

(21) Application number : 05-335192

(71) Applicant : NEC CORP

(22) Date of filing : 28. 12. 1993

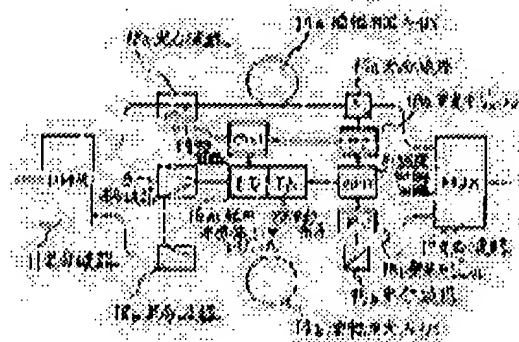
(72) Inventor : OKUNO HIDEKI

(54) OPTICAL FIBER AMPLIFIER FOR WAVELENGTH MULTIPLEX TRANSMISSION

(57) Abstract:

PURPOSE: To make signal light output of each wavelength from an optical fiber amplifier almost equal by providing an optical combiner for combining each amplified light of first amplifier optical fiber and second amplifier optical fiber.

CONSTITUTION: Provided light of a semiconductor laser 16 for excitation is two-branched by an optical branching device 3 and is connected to optical combiners 12a, 12b, respectively. The optical combiners 12a, 12b combine each branched excitation light to amplifier optical fibers 14a, 14b, respectively. A part of amplified signal light is branch by optical branching devices 15a, 15b, converted to electrical signal by photosensitive modules 18a, 18b and sent to a control circuit 20 and a temperature control circuit 21. Therefore, signal light output of each wavelength from each of optical fiber amplifiers 14a, 14b can be made equal.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

15. 03. 1995

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] '271'0199  
[Date of registration] 24. 10. 1997  
[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]  
[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]  
[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998, 2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-202299

(43) 公開日 平成7年(1995)8月4日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 S 3/094

G 0 2 B 6/00

G 0 2 F 1/35

5 0 1

H 0 1 S 3/ 094

S

G 0 2 B 6/ 00

E

審査請求 有 請求項の数11 O L (全 6 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号

特願平5-335192

(22) 出願日

平成5年(1993)12月28日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目7番1号

(72) 発明者 奥野 秀樹

東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内

(74) 代理人 弁理士 京本 直樹 (外2名)

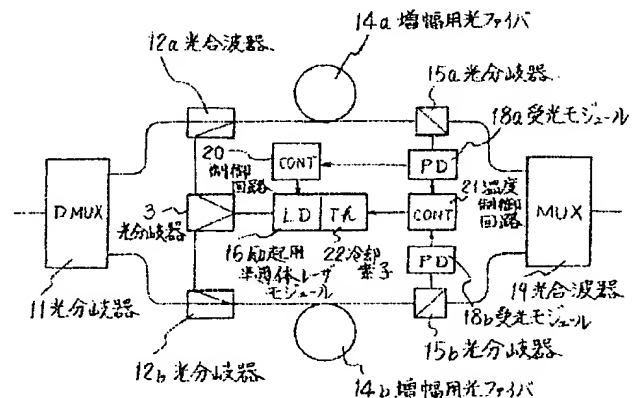
(54) 【発明の名称】 波長多重伝送用光ファイバ増幅器

(57) 【要約】

【目的】 波長多重伝送用光ファイバ増幅器において、増幅用光ファイバの利得の波長依存性によって生じる各波長間の信号光出力をほぼ等しくなるようにする。

【構成】 波長多重された信号光を、光分波器により一旦各波長毎の信号光に分波して、各波長の信号光毎に備えた増幅用光ファイバにより個別に光増幅した後、合波する。また、各増幅用光ファイバには同一の励起光源から出射される励起光を光分岐器で分岐し、各光合波器により入射する。励起光源の励起光の波長は冷却素子により制御される。このとき、各波長に対する増幅用光ファイバの利得差が、各光分岐器間の挿入損失差に等しくなるような波長に調整される。

【効果】 波長多重伝送において利得差の小さい増幅が可能になる。励起光源は1台なので低消費電力化、低価格化できる。



## 1

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 多重化された互いに異なる波長  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  の 2 つの信号光を分波する光分波器と、  
 分波された前記波長  $\lambda_1$  の信号光を増幅する第 1 の増幅用光ファイバと、  
 分波された前記波長  $\lambda_2$  の信号光を増幅する第 2 の増幅用光ファイバと、  
 前記第 1 の増幅用光ファイバに励起光を入射する第 1 の励起光源と、  
 前記第 2 の増幅用光ファイバに励起光を入射する第 2 の励起光源と、  
 前記第 1 の励起光源から励起光を前記第 1 の増幅用光ファイバに合波する第 1 の光合波器と、  
 前記第 2 の励起光源から励起光を前記第 2 の増幅用光ファイバに合波する第 2 の光合波器と、  
 前記第 1 の増幅用光ファイバと前記第 2 の増幅用光ファイバの各増幅光を合波する第 3 の光合波器とを備えたことを特徴とする波長多重伝送用光ファイバ増幅器。

【請求項 2】 多重化された互いに異なる N 波長の信号光を各波長毎に分波する光分波器と、  
 分波された前記各波長の信号光を増幅する N 本の独立した増幅用光ファイバと、  
 前記各増幅用光ファイバに励起光を入射する N 個の励起光源と、  
 前記各励起光源から励起光を前記各増幅用光ファイバにそれぞれ合波する N 個の光合波器と、  
 前記各増幅用光ファイバからの各増幅光を合波する増幅光合波用光合波器とを備えたことを特徴とする波長多重伝送用光ファイバ増幅器。

【請求項 3】 前記増幅用光ファイバがエルビウムドープ光ファイバであることを特徴とする「請求項 1」または「請求項 2」記載の波長多重伝送用光ファイバ増幅器。

【請求項 4】 多重化された互いに異なる波長  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  の 2 つの信号光を分波する光分波器と、  
 分波された前記波長  $\lambda_1$  の信号光を増幅する第 1 の増幅用光ファイバと、  
 分波された前記波長  $\lambda_2$  の信号光を増幅する第 2 の増幅用光ファイバと、  
 励起光を出力する励起光源と、  
 前記励起光源からの励起光を第 1 の分岐励起光と第 2 の分岐励起光に 2 分岐する光分岐器と、  
 前記第 1 の分岐励起光を前記第 1 の増幅用光ファイバに結合させる第 1 の光合波器と、  
 前記第 2 の分岐励起光を前記第 2 の増幅用光ファイバに結合させる第 2 の光合波器と、  
 前記第 1 の増幅用光ファイバからの増幅光と、前記第 2 の増幅用光ファイバの増幅光を合波する第 3 の光合波器と、  
 前記励起光源の励起光の波長を調整する手段とを備えた

## 2

ことを特徴とする波長多重伝送用光ファイバ増幅器。

【請求項 5】 多重化された互いに異なる N 波長の信号光を各波長毎に分波する光分波器と、  
 分波された前記各波長の信号光を増幅する N 本の独立した増幅用光ファイバと、  
 励起光を出力する励起光源と、  
 前記励起光源からの励起光を N 分岐する光分岐器と、  
 前記光分岐器により分岐された各励起光を前記各増幅用光ファイバに結合させる N 個の光合波器と、  
 前記各増幅用光ファイバからの各増幅光を合波する増幅光合波用光合波器と、  
 前記励起光源の励起光の波長を調整する手段とを備えたことを特徴とする波長多重伝送用光ファイバ増幅器。

【請求項 6】 前記励起光源は半導体レーザであり、  
 前記励起光の波長を調整する手段が、前記半導体レーザを加熱・冷却することを特徴とする「請求項 4」または「請求項 5」記載の波長多重伝送用光ファイバ増幅器。

【請求項 7】 前記半導体レーザを加熱・冷却する手段がペルチェ素子からなることを特徴とする「請求項 6」記載の波長多重伝送用光ファイバ増幅器。

【請求項 8】 前記第 1 の光合波器は、前記半導体レーザの中心波長  $\lambda_0$  よりもわずかに短い波長  $\lambda_a$  で、前記半導体レーザから前記増幅用光ファイバへの挿入損失が最低となり、前記波長  $\lambda_a$  から離れるに従って損失が増加し、  
 前記第 2 の光合波器は、前記波長  $\lambda_0$  よりもわずかに長い波長  $\lambda_b$  で、前記半導体レーザから前記増幅用光ファイバへの挿入損失が最低となり、波長  $\lambda_b$  から離れるに従って損失が増加することを特徴とする「請求項 4」または「請求項 5」記載の波長多重伝送用光ファイバ増幅器。

【請求項 9】 前記第 1 の増幅用光ファイバの利得と前記第 2 の増幅用光ファイバの利得の差に、  
 前記第 1 の光合波器の挿入損失と前記第 2 の光合波器の挿入損失の差がほぼ等しくなるように、  
 前記励起光源の波長が調整されていることを特徴とする「請求項 4」記載の波長多重伝送用光ファイバ増幅器。

【請求項 10】 前記第 1 の増幅用光ファイバからの光出力レベルと前記第 2 の増幅用光ファイバの光出力レベルがほぼ等しくなるように、  
 前記励起光源の波長が調整されていることを特徴とする「請求項 4」記載の波長多重伝送用光ファイバ増幅器。

【請求項 11】 前記増幅用光ファイバがエルビウムドープ光ファイバであることを特徴とする「請求項 4」または「請求項 5」記載の波長多重伝送用光ファイバ増幅器。

【発明の詳細な説明】  
 【0001】  
 【産業上の利用分野】 本発明は光ファイバ増幅器に関し、特に波長多重伝送に用いるエルビウムドープ光ファ

## 3

イバ増幅器の構成に関する。

## 【0002】

【従来の技術】波長多重伝送は、光通信において複数の波長の信号光を用いることにより伝送容量を拡大する方式である。このような方式では、送信部において複数の異なる波長の光を合波する光合波器および受信部において各波長の信号光に分波する光分波器が必要であり、この光合波器および光分波器において挿入損失が生じる。そこで、この光合分波時の損失を補償するために光増幅器が使用される。

【0003】光増幅器には、半導体増幅器、ファイバラマン増幅器、ファイバブリルアン増幅器、希土類ドープファイバ増幅器がある。特に、希土類ドープファイバ増幅器の1つであるエルビウムドープファイバ増幅器(EDFA)は、偏光依存性がなく、半導体レーザによる励起が可能であることなどから広く用いられている。

【0004】波長多重された複数の異なる波長の信号光を増幅して伝送する光ファイバ増幅器としては、例えば特開平3-89644号公報に記載の光ファイバ増幅器がある。これは、波長多重された各波長の増幅光をそのま

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述の合波された信号光を一括して増幅する方式では、図4に示されるように光ファイバ増幅器の利得に波長依存性があるため、各波長間で利得差が生じてしまう。この結果、光ファイバ増幅器から出力される信号光に出力差が生じてしまい、光出力が相対的に弱い信号光は受信側で十分分波できなくなり、漏話特性が劣化するという問題がある。

【0006】本発明は、上述の欠点に鑑みて、各波長の信号光ごとに利得の調整が可能であり、光ファイバ増幅器からの各波長の信号光出力をほぼ等しくすることができる波長多重伝送用光ファイバ増幅器を提供することにある。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】上述の欠点を除去するために、本発明の波長多重伝送用光ファイバ増幅器は、多重化された互いに異なる波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の2つの信号光を分波する光分波器と、分波された波長 $\lambda_1$ の信号光を増幅する第1の増幅用光ファイバと、分波された波長 $\lambda_2$ の信号光を増幅する第2の増幅用光ファイバと、第1の増幅用光ファイバに励起光を入射する第1の励起光源と、第2の増幅用光ファイバに励起光を入射する第2の励起光源と、第1の励起光源から励起光を第1の増幅用光ファイバに合波する第1の光合波器と、第2の励起光源から励起光を第2の増幅用光ファイバに合波する第2の光合波器と、第1の増幅用光ファイバと第2の増幅用光ファイバの各増幅光を合波する第3の光合波器とを備えたことを特徴としている。

## 4

【0008】本発明の波長多重伝送用光ファイバ増幅器はまた、多重化された互いに異なる波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の2つの信号光を分波する光分波器と、分波された波長 $\lambda_1$ の信号光を増幅する第1の増幅用光ファイバと、分波された波長 $\lambda_2$ の信号光を増幅する第2の増幅用光ファイバと、励起光を出力する励起光源と、励起光源からの励起光を第1の分岐励起光と第2の分岐励起光に2分岐する光分岐器と、第1の分岐励起光を第1の増幅用光ファイバに結合させる第1の光合波器と、第2の分岐励起光を第2の増幅用光ファイバに結合させる第2の光合波器と、第1の増幅用光ファイバからの増幅光と、第2の増幅用光ファイバの増幅光を合波する第3の光合波器と、励起光源の励起光の波長を調整する手段とを備えたことを特徴としている。

【0009】特に、上記構成において、第1の増幅用光ファイバの利得と第2の増幅用光ファイバの利得の差に、第1の光合波器の挿入損失と第2の光合波器の挿入損失の差がほぼ等しくなるように、励起光源の波長が調整されていることを特徴としている。

## 20 【0010】

【作用】本発明の波長多重伝送用光ファイバ増幅器では、多重化された信号光を光分波器で一旦各波長の信号光に分波して、各信号光毎に個別の増幅用光ファイバで増幅するので、独立して利得を制御することができる。

【0011】また、本発明では、各増幅用光ファイバに1台の励起光源から出射される励起光を分岐して用いるので、装置全体の低消費電力化が図られる。このとき、各増幅用光ファイバの利得は、各増幅用光ファイバへ励起光を合波するための光合波器の損失の波長依存性を利用して、損失差が各増幅用光ファイバの利得差を相殺するように励起光源の波長を制御する。

## 【0012】

【実施例】次に図面を参照して本発明の一実施例を詳細に説明する。

【0013】図1は本発明の波長多重伝送用光ファイバ増幅器の第1の実施例のブロック図で、互いに異なる2つの波長が多重化されている場合の例を示す。多重化された2つの信号光は、光分波器1によって波長 $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の信号光に分波される。波長 $\lambda_1$ の信号光は増幅用光ファイバ4に入射される。増幅用光ファイバ4には光合波器3が接続されており、励起用半導体レーザモジュール6からの励起光が合波される。

【0014】増幅された信号光は、一部が光分岐器5で分岐され、受光モジュール8に入射され、電気信号に変換されて制御回路12に送出される。この電気信号の強度により、所望の利得が得られるように励起用半導体レーザモジュール6の注入電流が制御され、励起光の強度が決められる。

【0015】波長 $\lambda_2$ の信号光に対しても別に備えられた増幅用光ファイバ4b、励起用半導体レーザモジュール

5

ル 6 b 等によってなされる。波長  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$  の各増幅光は光合波器 9 により再び多重化され、伝送用光ファイバへ送出される。

【0016】このように、本発明の波長多重伝送用光ファイバ増幅器は、各波長毎に信号光を増幅するので、利得制御が容易であり、伝送用光ファイバの送出される信号光の出力レベルをほぼ等しくすることができる。

【0017】本実施例では、具体的な信号光の波長として、1550nm と 1560nm の波長の信号光が用いられた。増幅用光ファイバには、エルビウムドープ光ファイバが適用され、また、励起光源には波長 980nm の励起光を出力する励起用半導体レーザが用いられている。

【0018】ここでは、説明を容易にするため、2 波長の場合を説明したが、多重化される波長数が 3 以上の場合でも適用が可能なことは言うまでもない。また、励起光の入射は前方励起としたが、後方励起でも、前方・後方両方からの励起であってもよい。

【0019】次に、本発明の第 2 の実施例について説明する。

【0020】第 2 の実施例と第 1 の実施例との相違点は、第 1 の実施例が各増幅用光ファイバに対して励起光源があるのに対し、第 2 の実施例では励起光源が 1 台である点である。以下に、第 2 の実施例の構成について相違点のみを説明する。

【0021】励起用半導体レーザ 16 の出射光は、光分岐器 13 で 2 分岐され、光合波器 12 a、12 b にそれぞれ接続されている。光合波器 12 a、12 b では、分岐された各励起光をそれぞれ増幅用光ファイバ 14 a、14 b に合波する。

【0022】増幅された信号光の一部は、光分岐器 15 a、15 b でそれぞれ分岐され、受光モジュール 18 a、18 b で電気信号に変換され、制御回路 20 および温度制御回路 21 へ送出される。制御回路 20 では、各波長の信号光の強度を監視して、双方の光強度が所望の光出力レベルに足りない、すなわち増幅用光ファイバ 14 a、14 b の利得が小さいかどうかを判定する。利得が小さい場合には、励起用半導体レーザモジュールへの電流を増加させ、励起光を増大する。利得が大きすぎる場合には、この逆を行う。

【0023】一方、各波長の信号光の片方の利得が所望の値よりも大きく、他方が小さい場合には、温度制御回路 21 により冷却素子への電流を調整しての温度を変化させることにより励起用半導体レーザモジュール 16 の励起光の波長が制御される。

【0024】図 4 は、各増幅用光ファイバに接続されている光合波器 12 a、12 b それぞれの励起用半導体レーザモジュール 16 から増幅用光ファイバ 14 a あるいは 14 b への、入射光の波長に対する挿入損失を示す図である。光合波器 12 a、12 b は、ともに干渉膜フィ

6

ルタ型であり、波長が約 1200nm 以下の光を反射させ、1200nm 以上の光を透過させる多層膜と、励起用半導体レーザの中心波長である 980nm にほぼ等しい通過帯域を有する多層膜により構成されている。ここで、図 4 に示されるように、光合波器 12 a の挿入損失は、970nm で最低となり、この波長からはずれるにしたがって、徐々に増加する。約 3dB 損失が増加するときの通過帯域幅は約 36nm である。これに対して、光合波器 12 b は 990nm を最低損失となる中心波長として、同様に波長がずれるにしたがって損失が増加する。

【0025】次に、このような通過帯域特性を有する光合波器 12 a、12 b を有する構成による利得調整について説明する。

【0026】いま、増幅用光ファイバ 14 a と 14 b の利得が等しい場合には、励起用半導体レーザモジュールの励起光の中心波長は 980nm に設定すればよい。ところが、両者の利得が異なる場合、例えば増幅用光ファイバ 14 a の利得が 14 b の利得よりも小さく、その差  $L_1$  が 1.3dB である場合には、光合波器 12 a の挿入損失が光合波器 12 b の挿入損失よりも 1.3dB だけ大きくなるような波長を選定すればよい。図 4 から、この波長が約 976nm であることがわかるので、励起用半導体レーザモジュール 16 の中心波長が 4nm 短くなるように、制御回路 22 の電流を調整し冷却素子 22 を温度制御すればよい。この場合は波長が短くする方向なので、温度を下ればよいことになる。逆に、例えば増幅用光ファイバ 12 a の利得が 12 b のそれよりも約 2.5dB 小さい場合には、光合波器 12 a の挿入損失が光合波器 12 b のそれよりも 2.5dB 小さくなる波長、すなわち 988nm になるように励起光の中心波長を調整すればよい。この場合は、励起用半導体レーザを加熱することになる。なお、本実施例では、励起用半導体レーザを迅速に加熱・冷却できるよう冷却素子 22 にはペルチェ素子が用いられている。

【0027】なお、信号光が通過する、光分岐器 11 から増幅用光ファイバ 14 a、14 b への挿入損失は、約 0.5dB で極めて低損失になるように設計されている。また、光分岐器 13 は常に一定の割合、通常は 2 分の 1 ずつ分岐しなければならないので、分岐比の波長依存性が小さいものが用いられる。

【0028】このように、励起用半導体レーザの励起光の中心波長を制御することにより、各光合波器の挿入損失を変化させ、これにより各増幅用光ファイバの利得を等しくすることができる。上述の第 2 の実施例では、各増幅用光ファイバの利得を等しくするように調整されているが、多重化されている信号光間にレベル差がすでにある場合には、受光モジュール 18 a、18 b で受光される光出力レベルが等しくなるように利得を制御することも可能である。

## 【0029】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の波長多重伝送用光ファイバ増幅器では、波長多重伝送において一旦各波長の信号光に分波して、各信号光毎に光ファイバ増幅器を備えて増幅するので、励起光の出力を個別に調整することによって各光ファイバ増幅器の励起状態を独立に制御し、各波長の利得を制御できる。

【0030】また、本発明では、1台の励起光源を分岐して各光ファイバ増幅器に共有して用いているので低消費電力化、低価格化することができる。

【0031】本発明の波長多重伝送用光ファイバ増幅器は、波長多重伝送方式を用いた伝送システムの光中継器等において、特に有用である。

## 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の波長多重伝送用光ファイバ増幅器の第1の実施例のブロック図。

【図2】本発明の波長多重伝送用光ファイバ増幅器の第2の実施例のブロック図。

【図3】図2に示す第2の実施例における各光合波器の挿入損失特性を示す図。

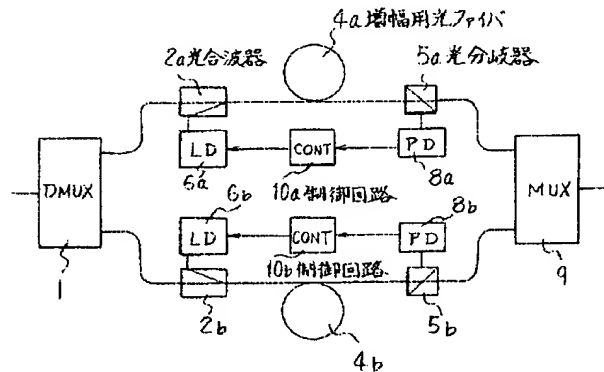
【図4】エルビウムドープ光ファイバの信号光の波長と

利得の関係を示す図。

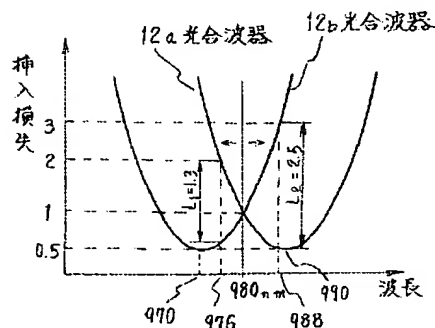
## 【符号の説明】

- |           |           |                |
|-----------|-----------|----------------|
| 1         | ...       | 光分波器           |
| 2 a、2 b   | ...       | 光合波器           |
| 4 a、4 b   | ...       | 増幅用光ファイバ       |
| 5         | ...       | 増幅光用光合波器       |
| 6         | ...       | モニタ用光分岐器       |
| 7 a、7 b   | ...       | 励起用半導体レーザモジュール |
| 9         | ...       | 受光モジュール        |
| 10        | 10 a、10 b | 制御回路           |
| 11        | ...       | 光分波器           |
| 12 a、12 b | ...       | 光合波器           |
| 13        | ...       | 光分岐器           |
| 14 a、14 b | ...       | 増幅用光ファイバ       |
| 15 a、15 b | ...       | 光分岐器           |
| 16        | ...       | 励起用半導体レーザモジュール |
| 22        | ...       | ペルチェ素子         |
| 18 a、18 b | ...       | 受光モジュール        |
| 20        | ...       | 制御回路           |
| 20        | 21        | 温度制御回路         |
| 22        | ...       | 冷却素子           |

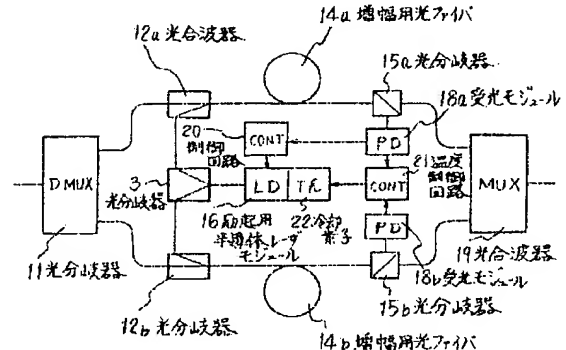
【図1】



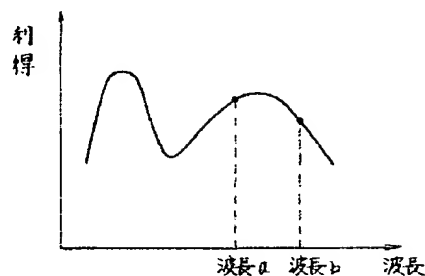
【図3】



【図2】



【図4】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. <sup>6</sup>

識別記号

序内整理番号

F I

技術表示箇所

H O 1 S    3/07

3/10

Z